REDUCING METHANE EMISSIONS FROM COMPRESSOR ROD PACKING SYSTEMS

تقليل انبعاثات غاز الميثان من أنظمة التعبئة ذات الضاغطات

ملخص تنفيذي

يعمل أكثر من ٥١٠٠٠ ضاغط في عملية إنتاج الغاز الطبيعي بالولايات المتحدة وكل واحد من هذه الضاغطات يحتوي في الغالب على أربعة أسطوانات مما يكون أكثر من ٢٠٠٠٠٠ نظام رفع ضغطي للتعبئة تدخل في خدمة الإنتاج. ينتج عن ذلك كله حدوث انبعاث غاز للميثان في الهواء الجوي تتعدي ٧٢,٤ مليار قدم مكعب سنوياً مما يشكل أكبر نسبة حدوث انبعاث في محطات ضغط الغاز الطبيعي.

فجميع أنظمة التعبئة تقوم بتسرب الغاز في الظروف العادية وتعتمد درجة الترسيب على مدى ضغط الأسطوانة وملاءمتها وانتظامها داخل أجزاء التعبئة وتعتمد أيضاً على مدى تلف الحلقات الموجودة في مقدمة الأسطوانة. أما أنظمة التعبئة الجديدة فتعتبر أكثر ملائمة وانتظاماً حيث أنها ربما تفقد من ١١ إلى ١٢ قدم مكعب/ساعة على الأكثر. ومع ذلك، فبمرور الوقت تزداد نسبة الترسيب كلما زاد التلف في حلقات الأسطوانة وذراع الضاغط. فقد قام شركاء ستار (STAR) للغاز الطبيعي بقياس درجة الانبعاث فوجدوها تصل إلى ٩٠٠ قدم مكعب/ساعة في كل ضاغط.

بالاطلاع على البيانات وبمساعدة شركة متخصصة في الشئون المالية كان لدى الشركاء القناعة إلى أن تكلفة الغاز المنبعث أعلى بكثير من استبدال هذه الحلقات والرافعات المستهلكة. فكان لهذا النهج فوائد عظيمة حيث قلل من انبعاث غاز الميثان وتوفير أموال كثيرة كانت ضائعة من قبل. وباستخدام هذه الطريقة حقق شركاء ستار (STAR) للغاز الطبيعي مكاسب هائلة بتوفير نحو ٢٣٣٠٠٠ دولار سنوياً من أسعار الغاز في العام ٢٠٠٦. ولهذه الطريقة (استبدال الحلقات ورافعات المكبس المستهلكة) فوائد اقتصادية أخرى منها زيادة عمر المعدات الحالية وتحسين فعالية العمليات بجانب توفير الأموال على المدى الطويل.

طرق تقليل انبعاثات غاز الميثان	حجم التوفير في معدلات الغاز الطبيعي (ألف قدم مكعب/سنويًا)	مقدار التوفير في معدلات الغاز الطبيعي (بالدولار/سنويًا)	تكلفة البدء في التنفيذ (بالدولار)	فترة تعويض تكلفة المشروع (بالأشهر)
استبدال الحلقات ورافعات المكبس الخاصة بالضاغط	١٨٦٥[١]	٦٠٥٥ دولار[٢]	٥٤٠ دولار[٣]	٢

[١] اللجنة الدولية لأبحاث خطوط الأنابيب (١٩٩٩)
[٢] قيمة الغاز ٧,٠٠ لكل (ألف قدم مكعب)
[٣] قيمة الحلقة المستبدلة ١٦٢٠ كل ثلاث سنوات وليس كل أربع سنوات (معدل الصناعة)

هذه سلسلة واحدة من "ملخصات الدروس المستفادة" التي أعدتها "وكالة الحماية البيئية" (EPA) بالتعاون مع جهات صناعة الغاز الطبيعي بخصوص التطبيقات الفائقة لـ"أفضل ممارسات الإدارة" (BMPs) والفرص المذكورة من جانب الشركاء (PROs) التابعة لبرنامج ستار للغاز الطبيعي Natural Gas STAR.

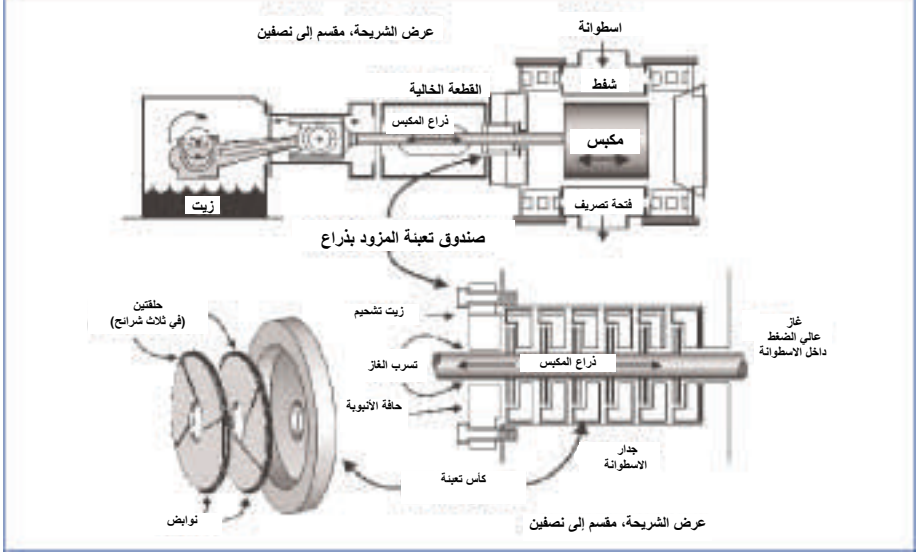
الدروس المستفادة

الخلفية الفنية

تتسبب أرجحة الضاغطات أثناء عملية إنتاج الغاز الطبيعي في تسرب الغاز أثناء العمل في الظروف العادية. وتكون حافة الأنبوبة والصمامات وأماكن التركيب من أكثر الأماكن التي تتسبب في هذا الترسيب هذا بالاشتراك مع ذراع المكبس في أنظمة التعبئة.

تستخدم أنظمة التعبئة في إحكام السد حول ذراع المكبس ويمنع الغاز من التسرب أثناء الضغط العالي في أسطوانة الضاغط ويسمح في نفس الوقت بالتحرك المرن لذراع المكبس. الشكل ١ يوضح نظام التعبئة الخاص بذراع المكبس داخل الضاغط.

الملحق١ : نظام رافع المكبس الفعلي داخل الضاغط



يتكون ذراع المكبس في أنظمة التعبئة داخل الضاغط من سلسلة من الحلقات المرنة التي تلتف حول أسطوانة العمود لتمنع تسرب الغاز من المكبس. تنزلق حلقات التعبئة بمساعدة شحم يلتف حول ذراع المكبس مما يسهل الحركة ويمنع الاحتكاك وبالتالي يقلل من الاستهلاك ويساعد في إحكام الغلق ويقلل من درجة الحرارة الناتجة عن العملية. وهناك طرق أخرى للتبريد مثل التبريد الهوائي والتبريد المائي والمبردات الدائرية داخل صندوق التعبئة. وتثبت حلقات التعبئة عن طريق مجموعة من كئوس التعبئة واحد لكل زوج من الحلقات وتثبت بإحكام في مواجهة أسطوانة العمود عن طريق يايات دائرية. يتغير عدد الكئوس والحلقات وفقاً لغرفة الضغط الموجودة. ويتم وضع حواشي أنفية في نهاية المكبس لكي تمنع التسرب من كئوس التعبئة.

وفي أفضل الظروف يتم تجهيز نظام تعبئة جديد ويركب بشكل صحيح على نحو سلس يقلل من درجة ترسيب الغاز بدرجة تصل إلى ١١,٥ قدم مكعب/ساعة وتزداد درجة الترسيب بشكل متعاقب لعدم الملائمة وانحراف أجزاء التعبئة عن موضعها والاستهلاك. وعادة ما يحدث الترسيب في أربعة مناطق:

- ★ حول صندوق التعبئة خلال الحاشية الأنفية
- ★ بين كئوس التعبئة التي عادة ما ترتفع معدن على معدن فوق بعضها
- ★ حول الحلقات أثناء حركة الكئوس وذراع المكبس للأمام والخلف
- ★ بين الحلقات وأسطوانة العمود

ينفذ الغاز المتسرب إلى الغلاف الجوي من خلال الثقب الموجود في حافة الأنبوبة الخاصة بالتعبئة، ويمكن تقليل هذا الترسيب عن طريق الرصد السليم وعن طريق الجدول الزمني لتغيير الحلقات ورافعات الكابس المستهلكة مما يحد من هذا الترسيب في المستقبل.

الفوائد الاقتصادية والبيئية

تحظى عملية الرصد واستبدال أنظمة التعبئة وروافع المكبس داخل الضاغط بأهمية كبيرة حيث تقلل من كمية الغاز المنبعث إلى الغلاف الجوي ويوفر الكثير من المال. فمثلاً تحتاج حلقات التعبئة المصنوعة من البرونز والمعدن إلى التغيير كل ثلاث إلى خمس سنوات. ومع هذا، تتدهور عملية التعبئة ويزداد مستوى ترسيب الغاز إلى أن يصبح عملية استبدال حلقات التعبئة أمر حتمي وضروري بالإضافة إلى أن عملية استبدال الحلقات يمد من عمر ذراع المكبس في الضاغط. قام الشركاء بإعداد برنامج للرصد واثبات أن عملية الاستبدال عملية اقتصادية ولها العديد من الفوائد منها:

- ★ تقليل انبعاث غاز الميثان
- ★ حفظ الغاز عن طريق انخفاض معدلات الترسيب
- ★ زيادة عمر روافع المكبس في الضاغط .

الدروس المستفادة

عملية اتخاذ القرار

تستطيع الشركات اتخاذ القرار المناسب من الناحية الاقتصادية بعمل قائمة بالمستبدلات في خمس خطوات بسيطة:

١- رصد وتسجيل المسببات الأساسية للترسيب ومدا استهلاك ذراع المكبس، عمل معدلات للترسيب ومراقبة استهلاك ذراع المكبس يساعد شركاء ستار (STAR) للغاز الطبيعي في متابعة الزيادة في الترسيب وتقدير الفائدة الاقتصادية من عملية استبدال الحلقات وأذرع المكبس.

تعد الفتحة الموجودة على حافة أنبوبة صندوق التعبئة هي الوسيلة التي تسرب الغاز إلى الغلاف الجوي. ولكن من الممكن أن يخرج الغاز من خلال ذراع المكبس أو من الحواشي الأنفية الموجودة في نهاية صندوق التعبئة ومن ثم عبر فتحات كئوس التعبئة ثم إلى القطعة الخالية. وبالتالي لابد من حساب قيمة الانبعاث على كل من الفتحتين إن أمكن. في بعض الأنظمة يتم إخراج فتحة كئوس التعبئة إلى القطعة الخالية ولكن الأنظمة الأخرى تجعل كل فتحة مستقلة بنفسها.

يمكن قياس ترسيب الغاز بطريقة أخرى عن طريق تركيب جهاز قياس. قبل الشروع في عملية القياس، لابد من فحص نظام مخرج التعبئة. فالفشل في حساب قيمة الترسيب الناتج من القطعة الخالية، يؤثر على حساب قيمة الترسيب الكلية بدرجة تصل إلى أعلى من ٤٠% من القيمة الكلية وبالتالي لا يمكن حساب الفائدة الاقتصادية من الاستبدال من عدمه ويؤثر ذلك على عملية اتخاذ القرار.

خمس خطوات لجدوى التعبئة واستبدال ذراع المكبس

١- رصد وتسجيل مقدار الترسيب ومدى استهلاك ذراع المكبس
٢- مقارنة معدل الترسيب الحالي بمعدل الترسيب الأولي لتحديد الخفض المتوقع في الترسيب
٣- حساب قيمة الاستبدال
٤- تحديد متى يتم الاستبدال
٥- استبدال أذرع المكبس ونظام التعبئة عندما يكون ذلك أفضل.

من الضروري عمل الإجراءات فوراً بعد تركيب الصمامات (أو أذرع المكبس والصمامات الجديدة). فهذا الإجراء يعد أهم شيء في عملية التعبئة الجديدة والذي يخدم الأسطوانات والضاغطات التي لها نفس النوع والمقاس والضغط وعمر أذرع المكبس. بعد تركيب الحلقات سيقوم الشركاء بتسجيل ورصد معدل الترسيب في ظروف متباينة (الضغط ، والتشحيم ، ودرجات الحرارة) ومتابعة كاملة لحلقات التعبئة عادة ما تكون شهرية أو موسمية.

يمكن رصد أذرع المكبس دوريا أثناء استبدال الحلقات عن طريق مستند يوضح الأبعاد داخل أسطوانة العمود ومدى خشونة السطح حيث يتصل ذراع المكبس بحلقات التعبئة. تستهلك أذرع المكبس بصورة أقل من حلقات التعبئة وبالتالي فعمرها يكون أطول يصل إلى ١٠ سنوات. فاستهلاك أذرع المكبس يحدث بتآكلها بسبب افتقارها للتركيز والانحراف عن موضعها مما يؤثر على تلاءم حلقات التعبئة حول أسطوانة العمود (وبالتالي على إحكام الصمامات) ومعدل استهلاك الحلقات. وكل هذا يؤثر على الصمامات ليس فقط في أدائها ولكن في عمرها أيضا وبذلك يقلل على عمر أذرع المكبس وصمامات التعبئة. يعزو الترسيب إلى استهلاك أذرع المكبس الذي أقره معدل الترسيب الزائد بعد كل فترة تغيير متلاحقة للحلقات (على فرض ثبات نفس الظروف ونفس نوع الحلقات). تسبب هذه الزيادة في الترسيب خسائر اقتصادية من الممكن استعاضتها لو بدلنا ذراع المكبس (انظر الخطوة رقم ٤).

الخطوة ٢- مقارنة معدل الترسيب الحالي بمعدل الترسيب الأولي لتحديد الخفض المتوقع في الترسيب باستخدام المعلومات الناتجة عن الرصد في الخطوة ١، فلابد من قياس درجة الانبعاث الحالية ومقارنتها بمعدل الترسيب الأولي وتقدير ما إذا كنا نحتاج إلى إجراء استبدال لأذرع المكبس أم لا. يوضح الشكل ٢ كيفية عمل المقارنة.

الشكل٢: مقارنة بين معد الترسيب الآن ومعدل الترسيب الأولي

المعطيات:

معدل الترسيب الأولي في بداية آخر عملية استبدل للحلقات وذراع المكبس يرمز له بالرمز (أ)

معدل الترسيب الحالي يرمز له بالرمز (ب)

التقليل المتوقع للترسيب يرمز له بالرمز (ج)

الحساب:

ج = ب – أ

على سبيل المثال لو أن معدل الترسيب في حلقات التعبئة الحالية تم قياسه بمقدار ١٠٠ قدم مكعب/ساعة وتم قياس معدل الترسيب بعد آخر عملية استبدال وقدرت بحوالي ١١,٥ قدم مكعب/ساعة فإن معدل الترسيب المتوقع يكون

ج = ١٠٠ – ١١,٥ = ٨٨,٥ قدم مكعب/ساعة

ج = ٨٨,٥ قدم مكعب/ساعة

الدروس المستفادة

لكي نحلل بدقة، فلزاما على الشركاء حساب الترسيب المتوقع والذي سنقوم بتوفيره بعد تركيب الأجهزة الجديدة والصمامات وأذرع المكبس وحساب قيمتها كل على حدة. وبعد ذلك تحديد قيمة الترسيب المتوقع بعد تركيب الحلقات الجديدة فقط ونفترض أن الحلقات المستهلكة كانت هي المسئولة عن كل الترسيبات. بعد ذلك نحسب قيمة الترسيبات المتوقعة لكي نستبدل أذرع المكبس والحلقات (لاحظ أنه كلما استبدلنا أذرع المكبس فلابد من استبدال الحلقات أيضاً في نفس الوقت وليس العكس). قم بعمل قياس أولي فوراً بعد تركيب الأذرع الجديدة داخل هذا الضاغط. حيث أن البيانات القديمة من الممكن أن لا تكون متوفرة لكل ضاغط على حدة ولكن من الممكن الإتيان بالبيانات الخاصة بالضاغطات المماثلة وحساب القيمة القاعدية (الأولية للترسيب) ومقارنتها بالحالية.

مؤشرات نلسون (Nelson) للأسعار

محتوى الميثان في أنابيب الغاز الطبيعي العالي الجودة الموجود في قطاع النقل يحتوي على ٩٣% تقريباً من الميثان. هذا، ويمكن تقريب نسب خفض انبعاث غاز الميثان من خلال استخدام محتوى الميثان في أنابيب الغاز العالي الجودة إلى نسب تقليل الغاز الطبيعي التي تم احتسابها في هذا المستند.

الخطوة ٣: حساب تكاليف عملية الاستبدال. تكاليف قيمة استبدال حلقات التعبئة وأذرع المكبس والتي تختلف باختلاف الضاغط. فبالنسبة لاستبدال حلقات التعبئة، فإنها تتنوع بمقدار عدد الأسطوانات في كل ضاغط ونوع الحلقات المستخدمة لكل أسطوانة. يقرر شركاء ستار (STAR) للغاز الطبيعي تكلفة نفس الصنف المستبدل ونفس العلامة التجارية. مجموعة تتكون من ٨ إلى ١٠ كئوس لكل ٣ بوصات في ذراع المكبس تتراوح قيمتهم من ١٣٥ دولار إلى ١٧٠ دولار لكل كأس بقيمة إجمالية تتراوح من ١٣٥٠ دولار إلى ١٧٠٠ دولار. مجموعة من الحلقات تتراوح قيمتها من ٦٧٥ دولار إلى ١٠٨٠ دولار أو ٢٠٢٥ دولار إلى ٣٣٧٥ دولار في حال اشتمالها على الكئوس. من العوامل المؤثرة أيضاً في التكلفة أبعاد ذراع المكبس ونوعه. يتراوح أسعار أذرع المكبس من ٢٤٣٠ دولار إلى ٤٧٢٥ دولار. يعمل الغلاف الخارجي مثل السيراميك والتنجستين والكروم على زيادة سعر التكلفة والتي تقدر بـ ١٣٥٠ دولار أو أكثر – كما أن تكلفة أذرع المكبس قد ترتفع وتتراوح من ١٢١٥٠ دولار إلى ١٣٥٠٠ دولار.

مؤشرات نلسون (Nelson) للأسعار

لتقدير التضخم في تكاليف تشغيل وصيانة المعدات، يتم استخدام مؤشرات نيلسون فرار للتكلفة ربع السنوية (Nelson-Farrar Quarterly Cost Indexes) (ويمكن الإطلاع عليها في العدد الأول من *مجلة النفط والغاز* التي تصدر كل أربعة أشهر) وذلك لتحديث التكاليف في وثائق الدروس المستفادة

يستخدم "مؤشر عمليات التشغيل"لمراجعة تكاليف التشغيل بينما يستخدم "مؤشر الآلات: التكلفة المفضلة لتكرير النفط" لتحديث تكاليف المعدات

لاستخدام هذه المؤشرات مستقبلاً، ابحث عن أحدث رقم لمؤشر نيلسون فرار (Nelson-Farrar index number) ثم اقسم هذا الرقم على رقم مؤشر نيلسون فرار (Nelson-Farrar) الساري في فبراير/شباط ٢٠٠٦، ثم قم في النهاية بضرب الناتج في التكاليف المناسبة الواردة في الدروس المستفادة

كما تختلف تكاليف التركيب بحسب مكان الموقع والصعوبات التي تظهر خلال الاستبدال. يقدر كل من الشركاء والمصنعين بأن تكاليف التركيب مساوية تقريباً لتكاليف المعدات. أنفق أحد الشركاء بمعدل ١٤٢٠ دولار لكل حلقة حشو معدة للشراء والتركيب. اكتشف الشركاء أن تكاليف قياس المراقبة والتسرب ضئيلة بالنسبة لكل حشو مقارنة بتكاليف العمل اللازم لتركيب حلقات أو قضبان.

الخطوة ٤: تحديد حد استبدال اقتصادي (economic replacement threshold) يمكن للشركاء، من خلال المعلومات المستخلصة من الخطوة ١ حتى الخطوة ٣، إنشاء "حد استبدال اقتصادي" (economic replacement threshold) يعرف النقطة المعينة التي تكون فيها تكلفة استبدال الحلقات والقضبان معقولة حدد الشركاء طرقاً متعددة لحساب هذا الحد بناءً على معايير تقدير استثمارات الشركة وخصائص الموقع.

من ضمن الطرق البسيطة هو استخدام مبادئ قيمة التدفقات النقدية الحالية لحساب حد استبدال اقتصادي. يمكن للشركاء حساب حد الاستبدال الاقتصادي الخاص بهم لكل من موانع تسريب الحشو والقضبان باستخدام المعادلة الآتية:

$$\text{حد الاستبدال الاقتصادي (scfh)} = \frac{١٠٠٠ * DF * CR}{(GP * H)}$$

حيث:

CR = تكلفة الاستبدال (بالدولار)
DF = معامل الخصم (بالنسبة المئوية)
H = ساعات تشغيل الضاغط كل عام
GP = سعر الغاز (بالدولار/ألف قدم مكعب)

معامل الخصم هو المصطلح المستخدم لاسترداد رأس المال الخاص بالأرباح السنوية المتساوية ويُحسب من المعادلة السابقة:

$$DF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

حيث تساوي نسبة الخصم أو نسبة مانع (hurdle rate) الشركة ويعبر عنها بكسر عشري، و n تساوي فترة السداد المختارة. باستخدام هذه المعادلة، إذا كان لدينا نسبة خصم ١٠% (i = 0.10) وفترة سداد مدتها عام واحد (n = 1) سيكون معامل الخصم ١,١٠، وفي فترة سداد لمدة سنتين (n = 2)، سيكون معامل الخصم ٠,٥٧٦، الخ.

الملحق ٣ يعرض مثالاً للسداد المخصوم. تم إنشاء هذا الجدول لعرض الخفض المتوقع للتسرب والضروري لسداد تكلفة الاستثمار في حشو الحلقات المحددة في عام واحد وفي عامين، وهكذا. يبين الملحق ٣ بأن تكلفة استبدال حلقة حشو التي تبلغ ١٦٢٠ دولار يمكن سدادها في عام واحد مع خفض للتسرب بمقدار ٥٥ قدم مكعب قياسي/الساعة، وفي عامين مع خفض للتسرب بمقدار ٢٩ قدم مكعب قياسي/الساعة إلخ. (مع توفيرات مستقبلية من التسرب مخصومة بنسبة ١٠%). لذلك، إذا كان معيار الاستثمار الداخلي لأحد الشركاء هو السداد خلال عامين، فسينبغي على الشريك إنشاء حد استبدال اقتصادي لاستبدال الحلقات بمقدار مع خفض للتسرب قيمته ٢٩ قدم مكعب قياسي/الساعة. بمعنى آخر، عندما يصل خفض التسرب المتوقع من استبدال الحلقات إلى ٢٩ قدم مكعب قياسي/الساعة، ينبغي على الشريك استبدال حشو الحلقة.

الملحق ٣: حد الاستبدال الاقتصادي لحلقات الحشو

الخفض المتوقع للتسرب (قدم مكعب قياسي/الساعة)	فترة السداد (بالشهور) [١]
٥٥	٧
٢٩	١٢
٢٠	١٨
١٦	٢٢
١٣	٢٧

[١] على افتراض أن تكاليف استبدال حلقة الحشو تبلغ ١٦٢٠ دولار، ٧ دولارات/ألف قدم مكعب من الغاز و ٨٠٠ ساعة تشغيل/العام.

كما هو الحال بالنسبة للحلقات، يمكن تحديد حد الاستبدال الاقتصادي لاستبدال القضيب بإنشاء خفض التسرب المطلوب لضبط الاستثمار في مجموعة قضبان جديدة، اتبع نفس الخطوات السابقة ولكن استبدل تكلفة الاستبدال (CR) بتكاليف رأس المال الخاصة بالقضبان لتحديد حد الاستبدال الاقتصادي.

الدروس المستفادة

بعد تحديد حد الاستبدال الاقتصادي ينبغي على الشركاء تحديد مقدار انبعاثات غاز الميثان الناتجة عن الاستبدال. لا تفرق قياسات التسرب الحالي (CL) بين التسرب الناتج عن تآكل الحلقات والتسرب الناتج عن تآكل القضيب. على الرغم من ذلك، فعلى مر الأيام ستظهر قياسات التسرب الأولي (IL) زيادة تدريجية في نسبة تسريب الخط الأساسي، مشيراً إلى تآكل القضيب. يجب أن يقيس الشركاء ويرصدوا التغيير في التسرب الأولي (IL) لتحديد مقدار الانبعاثات الناتجة عن القضيب القديم. يحتاج الشركاء إلى إنشاء خط أساسي يمكنهم من خلاله مقارنة التسرب الناتج عن قضيب المكبس. يمكن إتمام ذلك من خلال أخذ القياسات عندما يتم تركيب القضيب لأول مرة أو بمقارنة القياسات من منشآت بها قضبان وحشو جديد. بمجرد إنشاء هذا الخط الأساسي، يمكن للشركاء إجراء قيمة التدفقات النقدية الحالية لتحديد مقدار الترسب الناتج عن القضيب والذي يشير إلى ضرورة إجراء استبدال.

الملحق ٤ يستخدم نفس الطريقة المبينة في الملحق ٣ لتحديد حدود الاستبدال الاقتصادي لاستبدال الحلقات والقضبان. يقوم هذا المثال على تكلفة مقدارها ١١٧٠١ دولار لاستبدال القضيب وحلقات الحشو معاً. يبين الجدول أن الدول التي ترغب في السداد في عام واحد تحتاج إلى خفض متوقع للتسرب مقداره ٣٧٦ قدم مكعب قياسي/الساعة، بينما ينبغي على الدولة التي تفضل التسديد في ثلاثة أعوام استبدال القضبان وموانع التسرب عندما يكون مقدار الخفض المتوقع للتسرب ١٣٧ قدم مكعب قياسي/الساعة (مدخرات مستقبلية مخصومة بنسبة ١٠%)

الملحق ٤: حد الاستبدال الاقتصادي للحلقات والقضبان	
الخفض المتوقع للتسرب (قدم مكعب قياسي/الساعة)	فترة السداد (بالشهور)[1]
٣٧٦	٧
١٩٧	١٣
١٣٧	١٨
١٠٨	٢٢
٩٠	٢٧

[1] على افتراض أن تكاليف استبدال حلقة الحشو تبلغ ١٦٢٠ دولار وتكاليف استبدال القضيب تبلغ ٩٤٥١ دولار، ٧ دولارات/ألف قدم مكعب من الغاز و٨٠٠ ساعة تشغيل/العام.

ملحوظة تحذيرية: إذا تم ضبط القضيب أو توافق الحلقات بشكل سيئ، فقد يؤدي ذلك إلى ارتفاع قياس التسرب الحالي ومن ثم ارتفاع نسبة الخفض المتوقع للتسرب والذي قد لا يشير إلى ضرورة استبدال القضيب بل إلى ضرورة إعادة توافق الحلقات أو إعادة محاذاة القضيب مراقبة أبعاد القضيب (أي الاستدقاق والاستدارة والخدوش وخشونة السطح) ضرورية في تحديد أن الزيادة في التسرب الأولي (IL)على الخط الرئيسي هي ناتجة في الحقيقة عن تآكل عام في القضيب.

الخطوة ٥: استبدال الحشو والقضبان عندما تكون التكلفة معقولة. ستؤدي مراقبة الانبعاثات واستبدال القضبان المتآكلة وحلقات الحشو عند حد الاستبدال الاقتصادي إلى انخفاض مباشر في الانبعاثات وتكاليف وقود الضاغط. يجب أن يقارن الشركاء بيانات محطة الضاغط بحدود الاستبدال يجب أن يستبدل الشركاء حلقات الحشو والقضبان عندما تتساوى قيم التخفيض المتوقع للتسريب مع حدود الاستبدال الاقتصادي أو تتعداها. يوصي الشركاء كذلك باختيار حدود استبدال اقتصادية تعظم خفض الميثان.

تجربة أحد الشركاء

استبدلت شركة Consumers Energy حلقات حشو قضبان الضغط في ١٥ وحدة ضغط مع إجمالي توفيرات من تسرب الغاز المخفض تقدر بـ ٤٩٠٠٠ دولار (بناءً على تخفيضات تسرب تقدر بحوالي ٧٠٠٠ قدم مكعب قياسي في العام وبسعر بلغ ٧ دولارات لكل ألف قدم مكعب) بلغت تكاليف استبدال كل حلقات الحشو شاملة للمواد والعمل ٢٣٠٠٠ دولار لتستغرق فترة سداد ستة أشهر بتكاليف ٢٠٠٦.

الدروس المستفادة

خيارات إضافية

لم يصل الشركاء في برنامج ستار (STAR) للغاز الطبيعي إلى اتفاق بشأن تخفيضات الانبعاثات التي يمكن تحقيقها من خلال تغيير حشو قضيب الضاغط. ذكرت متغيرات عديدة تؤثر على التوفيرات المحتملة وتشمل ضغط الأسطوانة وتركيب ومحاذاة أجزاء الحشو ومقدار التآكل في الحلقات وعمود القضيب بالإضافة إلى معايير القرار الداخلية في الشركة.

على الرغم من ذلك، يتفق الشركاء على أن تعيين حد استبدال حلقات حشو وقضبان المكبس هي طريقة عملية لتقليل انبعاثات الميثان من الضواغط الترددية. يمكن أن تحسن بعض المواد الجديدة حياة وأداء معدات معينة وتقدم للشركاء توفيرات إضافية من خلال تقليل التسرب وتكاليف الإصلاح والاستبدال.

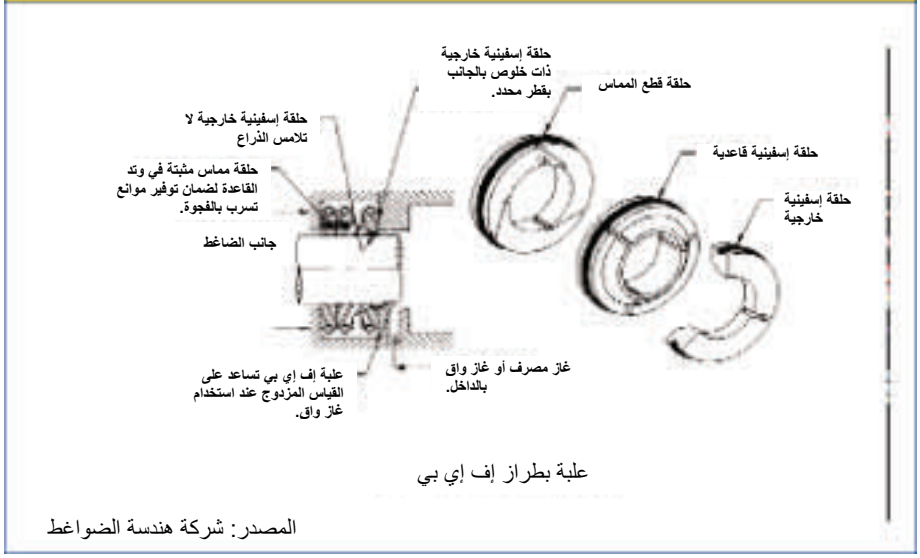
- **خيارات للحلقات.** يحل التيفلون المشرب بالكربون تدريجياً محل حلقات البرونز المعدنية. يزعم أحد البائعين بأن السعر متساوي تقريباً، بالإضافة إلى أن فترة صلاحية التيفلون تزيد بمقدار عام على مدة صلاحية حلقات البرونز التقليدية. على الرغم من ذلك، قد تلعب عوامل أخرى تشمل التركيب الصحيح والتبريد والتشحيم دوراً أكبر في مدة صلاحية الحلقة
- **قضبان مكبس حديثة.** أثبتت حلقات الضاغط الحالية المطلية بكبريتيد التنجستين بأنها تزيد مدة صلاحية الحلقات من خلال تقليل التآكل بالإضافة إلى جعلها أكثر فاعلية تركيبات موانع التسرب الاستاتيكية ("*راجع خفض الانبعاثات عند فصل الضواغط*") طلاء كل قضيب مكبس سيكلفك مبلغاً إضافيا يتراوح من ١٣٥٠ دولار إلى ٢٧٠٠ دولار. كما يستخدم طلاء الكروم لتقليل التآكل.
- **حشو قضيب ذو ثلاث حلقات.** أصبح نظام حشو قضيب ذو ثلاث حلقات المبين في الملحق ٥ أكثر انتشاراً. تُركب الحلقات بشكلٍ نموذجي في أحد الكوبين الأخيرين. الفائدة الرئيسية من هذا الترتيب هي أن هذا التصميم يمكن تركيبه عادةً دون أي استبدال أو تعديل لكوب صندوق الحشو.

الدروس المستفادة

اكتشف الشركاء بأن توفير دلائل بسيطة لاستبدال قضبان مكبس الضواغط المترددة وحشو القضيب لموظفي محطة الضواغط سيقلل بشكلٍ كبير من معدلات انبعاثات غاز الميثان. هذه التوفيرات في الغاز الطبيعي تسدد تكاليف الاستبدالات المتكررة الإضافية. الدروس الأساسية المستفادة هي:

- تطوير نظام لقياس ومراقبة التسرب الناتج من صناديق حشو عمود المكبس بشكلٍ منتظم. مراقبة التشحيم والتبريد بشكلٍ منتظم للمساعدة على تقليل التآكل في حلقات الحشو. قد يمثل التوصيل الردئ للحرارة في درجات حرارة التشغيل المرتفعة عاملاً كبيراً في تدهور الحلقات.

الملحق ٥: مجموعة حشو قضيب الانبعاثات الهاربة ذو الثلاث حلقات



المصدر: شركة هندسة الضواغط

- إنشاء نسب التسرب الأولي (IL) في الخط الرئيسي للقضبان وحلقات الحشو الجديدة، مصنفة حسب ظروف التشغيل وأنواع وأحجام الضواغط.
- مشاركة بيانات نسبة التسرب الأولية للخط الرئيسي مع المحطات الأخرى لتوفير بيانات بديلة حيث أن هناك بيانات معينة قد لا تكون متاحة لكل المحطات.
- إنشاء حد للانبعاثات خاص بشركة ما لكل ضاغط ليعمل كأداة مفيدة في معرفة الموعد المناسب لاستبدال حلقات الحشو وقضبان المكبس بشكلٍ اقتصادي.
- تحديث قضبان المكبس عندما يكون ذلك مبرراً اقتصادياً. ستؤدي التحديثات إلى انبعاثات أقل خلال فترة حياة القضيب.
- تصبح مواد حلقات الحشو الجديدة وأنظمة الحشو الجديدة بالكامل متاحة وأكثر شيوعاً عندما تكون قيم المنتج أو العوامل البيئية موازنة للتكاليف الكبيرة.
- للحصول على مزيد من المعلومات، ابحث في دراسة الدروس المستفادة تحت عنوان *Reducing Emissions When Taking Compressors Off-Line*.
- عند تغيير حلقات الحشو والقضبان، سجل تخفيضات انبعاثات غاز الميثان في التقارير السنوية لبرنامج ستار للغاز الطبيعي (Natural Gas STAR Program)

الدروس المستفادة

المراجع

الاستير جي كامبل، شركة بنتلي نيفادا، هيوستن، تكساس. *محاذاة بصرية للضواغط الترددية.*

Borders، روبرت سي لي كوك، لويزيفيلي، كنتوكي، الاتصال الشخصي.

منتجات الضواغط الفرنسية *الحشو الميكانيكي - التصميم ونظرية التشغيل، بولتين ٦٩١* .

مينوتي جو، شركة هندسة الضواغط، هيوستن، تكساس، الاتصال الشخصي.

بار، روبرت، تي إف هودجين، هيوستن، تكساس، الاتصال الشخصي.

مجلة خط الأنابيب والغاز، "Compressor Shutdown Leakage"، ديسمبر ١٩٨٥.

اللجنة الدولية لأبحاث خطوط الأنابيب، *Cost-Effective Leak Mitigation at Natural Gas Transmission Compressor Stations,* PR-246-9526، أغسطس ٢٠٠٩

Schroeder .١٩٩٩، ديفيد إم، منتجات الضواغط الفرنسية، نيوتن، بنسلفانيا، الاتصال الشخصي.

تنجلي، كيفن، الولايات المتحدة. برنامج ستار (STAR) للغاز الطبيعي التابع لوكالة حماية البيئة ((EPA

الدروس المستفادة

1EPA
United States
Environmental Protection Agency
Air and Radiation (6202J)
1200 Pennsylvania Ave., NW
Washington, DC 20460

EPAxxx
xxx 2006

1EPA
الولايات المتحدة
وكالة الحماية البيئية
الهواء والإشعاع (٦٢٠٢ جيه)
١٢٠٠ طريق بنسلفانيا، إن دبليو
واشنطون، دي سي ٢٠٤٦٠

EPAxxx
٢٠٠٦ xxx